烟酸对围产期奶牛能量代谢的影响及其调控机理

魏筱诗　尹清艳　蔡传江　曹阳春　姚军虎*

(西北农林科技大学动物科技学院，杨凌 712100)

摘　要：围产期是奶牛泌乳周期中十分重要的时期，该时期由于奶牛经历剧烈的生理变化，代谢增强、氧化应激产生、免疫功能改变，奶牛处于能量负平衡状态，多发能量代谢紊乱性疾病。烟酸在围产期奶牛糖、脂代谢中发挥重要的调控作用。本文总结了近些年烟酸对围产期奶牛能量代谢的影响及其调控机理，旨在为相关的深入研究以及烟酸在围产期奶牛上的合理应用提供参考。

关键词：烟酸；围产期奶牛；能量代谢；调控；机理

中图分类号：S823；S816.7

围产期，包括围产前期（产前 21 d）和围产后期（产后 21 d）2 个阶段，是奶牛泌乳周期中的特殊生理时期，又称过渡期。该时期奶牛易处于应激和能量负平衡（NEB）状态，是奶牛疾病多发时期，约 75%的奶牛疾病发生在产后 1 个月内[1]，严重制约奶牛养殖业的发展。运用合理有效的营养措施调控奶牛能量代谢具有重要意义。

烟酸（NA），又名尼克酸，是一种水溶性 B 族维生素，进入动物体内后转化成具有生物活性的烟酰胺（NAM），作为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NAD)和烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADP)的组成成分，参与机体合成和分解代谢，对动物碳水化合物、脂类、蛋白质代谢均有重要影响。目前，有关 NA 在围产期奶牛的应用研究逐渐增加，但其对能量代谢的调控机理仍不完全清楚。本文就近些年 NA 在围产期奶牛上的应用及其对围产期奶牛糖脂代谢的影响进行归纳总结，为深入研究及 NA 的合理应用提供基础资料。

1　NA 在奶牛上的研究现状

一般情况下，奶牛通过采食饲料、体内色氨酸和喹啉酸转化合成以及瘤胃微生物合成 3 条途径获取 NA，可满足奶牛对 NA 的需要。然而，在围产期，奶牛干物质采食量（DMI）急剧下降，奶牛通过采食饲粮摄取的 NA 含量也随之减少；同时，为了满足围产期奶牛的营

收稿日期：2016-11-21

基金项目：国家科技支撑计划（2012BAD12B02）；国家自然科学基金（31472122）；陕西省科技统筹创新工程项目（2015KTCL02-10，2015KTCQ02-19）

作者简介：魏筱诗（1991—），女，汉，四川绵阳人，博士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail: deardoris163@163.com

*通信作者：姚军虎，教授，博士生导师，E-mail: yaojunhu2004@sohu.com

养需求，该时期奶牛会经历不同营养成分的饲粮转换，瘤胃微生物区系随之变化，影响瘤胃中 NA 合成量。Niehoff 等[2]发现，采食不同精粗比饲粮对奶牛血液和牛奶中 NAM 含量影响显著，推测主要是由于高精料有利于更多的 NA 到达十二指肠，而到达空肠的 NA 会快速地转化成 NAM。已有研究显示，围产期奶牛补饲 NA 可改善生产性能[3-4]，进一步说明该时期奶牛体内 NA 含量不足，无法满足此特殊生理时期奶牛的代谢和生产需要。

根据 NRC（2001），奶牛仅需要少量 NA 即可满足生理需求。然而，当给奶牛直接饲喂推荐量的 NA 时，大部分 NA 在瘤胃被微生物降解或利用，生物利用率仅有 5%[5]，且 Schwab 等[6]汇总研究发现，饲喂推荐量的 NA 对奶牛的生产性能无显著影响。因此，近几年有研究建议利用过瘤胃保护技术（表 1[3,7-9]），或者皱胃灌注 NA[7,10]，提高 NA 过瘤胃率，减少 NA 在瘤胃中的损失，可有效发挥 NA 的生物学功能[7,9]。除此之外，给奶牛饲喂高剂量 NA 时，少量到达小肠的 NA 仍能发挥生物学功能[3,11]。作者汇总了最近几年 NA 在围产期奶牛上的研究，结果见表 2[3-4,7,11-14]。

表 1　现有过瘤胃烟酸产品

Table 1　Rumen-protected niacin products in the present

有效含量 Effective content/%	生产厂家 Manufacturers	文献来源 Reference
65.0	美国 Balchem	Yuan 等[3];Morey 等[7];Zimbelman 等[8]
31.6	美国 Quali	Wrinkle 等[9]

表 2　烟酸对围产期奶牛血液参数和生产性能的影响

Table 2　Effects of niacin on blood parameter and performance of transition dairy cows

品种 Breed	牛数 Cow No.	添加量 Supplemental level	开始时间 Start time/d	试验期 Trial period/d	干物质采食量 DMI	血液非酯化脂肪酸 Blood NEFA	血液葡萄糖 Blood glucose	生产性能 Performance	文献来源 Reference
荷斯坦奶牛 Holstein cow	11	0、24 g/d P	-21	42	-	0	-	+	Morey 等[7]
荷斯坦奶牛 Holstein cow	15	0、12 g/d P	-21	42	0	-	0	+	Yuan 等[3]
荷斯坦奶牛 Holstein cow	13	0、48 g/d N	-28	28	0	+	0	+	Aragona 等[4]

荷斯坦奶牛 Holstein cow	14	0、24 g/d N	-42	66	0	ND	0	+	Tienken 等[11]
埃及水牛 Egyptian buffalo	6	0、6、12 g/d N	-28	112	+	ND	+	+	El-Barody 等[12]
荷斯坦奶牛 Holstein cow	5	0、24 g/d N	0	21	0	0	+	ND	Kinoshita 等[13]
荷斯坦奶牛 Holstein cow	9	0、34、68 g/d N	-24	24	+	0	0	+	Chamberlain 等[14]

+：提高；-：降低；0：无影响；ND：未确定。N：非过瘤胃保护烟酸；P：过瘤胃保护烟酸。开始时间以分娩当天记为 0 d。

+: increase; -: decrease; 0: no effect; ND: not determined. N: not rumen protected niacin; P: rumen protected niacin. parturition day was set as 0 d of start time.

2 NA 对奶牛能量负平衡的调控作用及其机理

围产期奶牛经历妊娠－分娩－泌乳的生理变化，机体需要大量的营养物质（如碳水化合物、脂类、蛋白质等）驱动[15]，但由于产犊时期 DMI 急剧下降以及体内瘦素等激素的影响，营养物质的摄入量远低于机体消耗量，奶牛处于 NEB 状态，且 NEB 主要发生在围产后期[16-17]，除此之外，还包括蛋白质负平衡[18]等。有研究显示，产后能量摄入仅占能量需要量的 80%，且产犊初期蛋白质负平衡较 NEB 更严重[17]。

2.1 脂类代谢

一般情况下，围产期奶牛通过体脂动员缓解 NEB，脂肪组织释放大量非酯化脂肪酸（NEFA）进入肝脏代谢，然而肝脏对 NEFA 的代谢能力有限，过度动员脂肪易导致酮病和脂肪肝的发生，降低肝脏健康和免疫功能。

NA 被广泛认为是一种具有抗脂解作用的饲料添加剂，其抗脂解的主要原理研究相对完善。NA 进入体内后会立即与脂肪组织中 G 蛋白偶联受体 l09A（GPRl09A）结合。有研究显示，静脉注射 NA 5 min 后即可发现 NA 与 GPRl09A 结合[19]。然后，通过抑制脂肪细胞中腺苷酸环化酶活性，从而降低环磷酸腺苷（cAMP）的水平，进而抑制脂类分解。最新研究显示，*GPR*l09*A* 基因不只在脂肪组织和免疫细胞中表达，同时，在牛的大脑和肝脏组织中也表达[20-21]。除此之外，Ganji 等[22]通过体外小鼠肝脏细胞研究发现，NA 能非竞争性地直接抑制甘油三酯（TG）合成中的关键限速酶甘油二酯酰基转移酶 2（DGAT2）的活性，减少 TG 的合成和脂蛋白分泌，一定程度避免脂肪肝等代谢疾病产生。部分研究仍认为，添加 NA 对血液中 NEFA 浓度无降低作用，这可能与 NA 的添加方式、添加剂量、添加时期以及

采样时间等有关。

有趣的是，Martinez 等[23]研究发现泌乳奶牛补饲 NA 反而提高了血液中 NEFA 浓度，与人类医学上的部分研究结果相似[24]，研究者推测可能是因为 NA 提高了脂蛋白脂酶的活性，促进了体内 TG 的分解，从而增加了 NEFA 浓度。除此之外，当停止添加 NA 后，血液中 NEFA 浓度会出现迅速回升的现象[3]，可能与 NA 的添加量以及添加时间的长短有关，这也进一步说明了 NA 对脂肪动员具有抑制作用[3,6,25]。有研究认为，NA 可调控脂肪组织中磷酸二酯酶的基因表达，而磷酸二酯酶可降低 cAMP 的生物活性，也就是说当磷酸二酯酶表达量降低时可导致脂质分解迅速增加；当突然停止添加 NA 后，其对磷酸二酯酶表达量的降低作用消失，反而加剧了脂质分解，使血液中 NEFA 浓度突然回升[3]。

奶牛补饲 NA 后，NA 迅速转变成 NAM，NAM 是 NA 在动物体内的转运形式，其浓度远远高于 NA 浓度[6,11]。然而，相较于 NA，NAM 对 GPRl09A 的敏感性很低，一般认为 NAM 不具有抑制脂肪分解的作用[26]，在奶牛上的研究也相对较少。近几年在啮齿动物和猪上的研究发现，NAM 可增强脂肪细胞或组织的脂肪生成作用，减少脂质分解[27-28]。且 Li 等[29]认为，NAM 能在一定程度上促进牛脂肪细胞中脂质的合成，主要是通过抑制沉默信息调节因子 2 相关酶 1（SIRT1）脱乙酰酶的活性而发挥作用。SIRT1 是依赖于烟酰胺腺嘌呤二核苷酸的组蛋白脱乙酰酶，为 Sirtuins 家族成员之一，与细胞增殖、分化、衰老、凋亡和代谢密切相关。当 *SIRT*1 在脂肪细胞中过度表达时，通过与过氧化物酶体增殖物激活受体 γ（*PPARγ*）、过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 辅激活因子 1α（*PGC*1*α*）和叉头框蛋白 O3(*FOXO*1)等相互作用，可抑制脂肪生成，促使脂肪分解[30]。

然而，由于奶牛在泌乳早期处于 NEB 状态，动员体脂供能是奶牛提供能量以满足自身需求的自我调节方式，也为乳脂合成提供重要前体物质，一味地抑制脂质动员，降低体内 NEFA 浓度并不是缓解该时期 NEB 的最佳手段，反而会造成生产性能的下降[31]。

2.2　糖代谢

葡萄糖作为反刍动物主要的能量供应物质，参与机体能量和蛋白质代谢等生理过程，也是乳腺合成乳糖的重要前体物，其代谢程度和方式对围产期奶牛能量供应具有重要影响。研究发现，分别通过皱胃灌注和静脉注射葡萄糖以直接增加外源葡萄糖供应，结果显示升高血液葡萄糖浓度，改善泌乳性能，降低 β-羟基丁酸（BHBA）浓度，缓解 NEB[32-33]。

由表 2 可知，NA 对围产期奶牛血液葡萄糖浓度的影响在不同的研究中其结果并不一致。目前认为 NA 对血液葡萄糖增加的调控作用可能通过以下 3 种方式：1）作为能量代谢的辅酶组成成分，参与肝脏糖异生生成；2）促进血管舒张，增加血流量；3）调控机体激素如胰岛素敏感性。Pires 等[34]给限饲奶牛皱胃灌注 NA，在注射葡萄糖后发现，血液葡萄糖较对照组显著下降，这与 NA 可显著降低血液中 NEFA 浓度，一定程度缓解胰岛素抵抗现象有关。然而该作者在后期的试验中却发现，奶牛皱胃灌注 NA 后再注射葡萄糖，血液葡萄糖较对照组下降缓慢，与之前的结果完全相反[35]。NA 对血液葡萄糖的影响不仅仅包括本身对葡萄糖代谢的影响，还参与了多个胰岛素代谢相关反应。Choi 等[36]发现，NA 可调控蛋白激酶 B（Akt）和 FOXO1 磷酸化水平，但又与胰岛素的改变方向相反。其中，NA 能够降低 FOXO1 磷酸化水平，增加其基因在肝脏组织中的转录活性，提高磷酸烯醇丙酮酸羧激酶（PEPCK）和葡萄糖-6-磷酸酶（G6Pase）活性，促进肝脏糖异生。然而，Kinoshita 等[13]却发现围产期奶牛补饲 NA 虽然提高了血液葡萄糖浓度，但却显著降低了肝脏组织中葡萄糖转运蛋白 2(*GLUT*2)基因和蛋白的表达量，而对脂肪组织中无显著影响，研究者猜测这可能与 NA 的动力学作用有关，这一作用使其在肝脏中会有少部分残留以发挥功能，但其中可能的机制并不明确。

可见，NA 可通过直接参与和影响脂代谢间接影响糖代谢，同时，NA 可直接影响体内多个基因的表达，以及通过影响体内胰岛素等激素和血液代谢等间接影响糖代谢相关的基因表达[37]。然而，血液葡萄糖是体内葡萄糖吸收、生成和利用的综合指标，仅仅从血液葡萄糖的升高与否判断 NA 对糖代谢的影响不够全面，需要更深层次的指标帮助了解 NA 的作用机制。目前有关 NA 对围产期奶牛糖代谢调控的作用机理尚不清楚，有必要进一步研究 NA 对奶牛肝脏糖异生能力和糖质输出的影响。

2.3　胰岛素

胰岛素在参与机体糖、脂肪和蛋白质代谢中具有重要的作用。在奶牛围产期，特别是分娩时和泌乳早期，普遍发生胰岛素抵抗现象，一般认为此时的胰岛素抵抗有助于减少外周组织对葡萄糖的利用，保证母体和胎儿的能量供应。在分娩时，奶牛由于体脂动员，体内 NEFA 浓度急剧升高，是诱导产生全身性胰岛素抵抗的主要原因[38]。Zachut 等[39]进行了围产前期和围产后期对葡萄糖耐量试验，通过活体采集组织样品进行不同组织的比较时发现，围产期

奶牛胰岛素抵抗的发生存在组织特异性，肝脏组织并不存在胰岛素抵抗现象，而脂肪组织的胰岛素抵抗现象仅存在于体重损失严重的奶牛中，主要是由于 Akt 的磷酸化水平降低，导致胰岛素受体上酪氨酸残基的磷酸化减少，抑制了胰岛素功能的发挥[40]，而奶牛体重损失严重可能是由于产前体况偏肥，产后脂肪动员更强[41]，增加了机体 NEFA 的浓度。

NA 对于奶牛胰岛素的影响研究结果不尽一致。有研究显示，连续 11 h 皱胃灌注 NA 可提高胰岛素的应答能力[35]，但 74 h 的灌注试验显示并无此效果[10]，NA 对脂肪组织胰岛素信号通路相关蛋白也无显著影响[15]，然而，由于 NA 添加后，体内 NEFA 浓度的存在回弹现象，增加了体内脂肪酸的循环，反而会诱导胰岛素抵抗现象的产生[23]。

除此之外，NA 处理后可增加血液中生长激素、肾上腺素、脂联素和皮质酮等的浓度，参与机体多组织的基因表达和细胞信号通路的调控作用[37]。

2.4 应激和免疫

围产期是奶牛最特殊的生理阶段，本身易发生能量代谢障碍性疾病，遭遇热应激会增加奶牛渡过围产期的难度[42-43]。现有研究显示，奶牛补饲 NA 可减缓呼吸速率，降低喘气评分和直肠温度，缓解奶牛热应激[7,10]，可能的原因是 NA 可增加表皮血流量，热应激环境下奶牛主要通过排汗散热等，表皮血流量的增加有助于提高通过表皮散失的热量；同时，热应激条件下胞内热休克蛋白 27 和 70 的基因表达量提高，一定程度上可帮助奶牛抵御热应激伤害。

目前研究者广泛认为围产期奶牛由于大量的代谢需求，普遍存在氧化应激和免疫抑制现象，且产犊时期体内迅速增高的 NEFA 和 BHBA 浓度均可诱导奶牛肝脏组织发生氧化应激，降低抗氧化能力[44]，且通过进一步激活核转录因子 κB（NF-κB）信号通路，促进肝细胞炎性因子肿瘤坏死因子 α（TNFα）、白细胞介素 6（IL-6）和白细胞介素 1β（IL-1β）的合成和释放，引起奶牛肝细胞的炎性应答[45]。研究显示，NA 可减少肝细胞还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸氧化酶活性、活性氧的产生和促炎因子白细胞介素 8（IL-8）水平[46]，有助于保持肝脏健康和功能的发挥。Aragona 等[4]最新的研究发现，围产前期补饲 NA 可增加初乳中免疫球蛋白 G（IgG）浓度，提高初乳质量，这与 NA 在奶牛围产期中发挥的重要作用分不开。

3 小 结

围产期是奶牛泌乳周期中十分关键的阶段，该阶段奶牛的营养与管理极为重要。通过营

养手段调控围产期奶牛代谢，缓解 NEB，可预防和减少能量代谢障碍性疾病，提高奶牛产奶性能。NA 可参与调控围产期奶牛糖、脂代谢，缓解热应激，提高生产性能，但由于 NA 涉及的代谢较多，NA 的添加剂量、添加方式、添加时期等对奶牛的代谢影响不尽相同，且机理尚未明确，仍需进一步研究。

参考文献：

[1] 曹杰.奶牛围产期疾病数据分析及管理[J].中国奶牛,2015(6):59–60.

[2] NIEHOFF I D,HÜTHE L,LEBZIEN P,et al.Investigations on the effect of a niacin supplementation to three diets differing in forage-to-concentrate ratio on several blood and milk variables of dairy cows[J].Archives of Animal Nutrition,2009,63(3):203–218.

[3] YUAN K,SHAVER R D,BERTICS S J,et al.Effect of rumen-protected niacin on lipid metabolism,oxidative stress,and performance of transition dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2012,95(5):2673–2679.

[4] ARAGONA K M,CHAPMAN C E,PEREIRA A B D,et al.Prepartum supplementation of nicotinic acid:effects on health of the dam,colostrum quality,and acquisition of immunity in the calf[J].Journal of Dairy Science,2016,99(5):3529–3538.

[5] SANTSCHI D E,BERTHIAUME R,MATTE J J,et al.Fate of supplementary B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2005,88(6):2043–2054.

[6] SCHWAB E C,CARAVIELLO D Z,SHAVER R D.Review:a meta-analysis of lactation responses to supplemental dietary niacin in dairy cows[J].The Professional Animal Scientist,2005,21(4):239–247.

[7] MOREY S D,MAMEDOVA L K,ANDERSON D E,et al.Effects of encapsulated niacin on metabolism and production of periparturient dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2011,94(10):5090–5104.

[8] ZIMBELMAN R B,COLLIER R J,BILBY T R.Effects of utilizing rumen protected niacin on core body temperature as well as milk production and composition in lactating dairy cows during heat stress[J].Animal Feed Science and Technology,2013,180(1/2/3/4):26–33.

[9] WRINKLE S R,ROBINSON P H,GARRETT J E.Niacin delivery to the intestinal absorptive

site impacts heat stress and productivity responses of high producing dairy cows during hot conditions[J].Animal Feed Science and Technology,2012,175(1):33–47.

[10] PIRES J A A,GRUMMER R R.The use of nicotinic acid to induce sustained low plasma nonesterified fatty acids in feed-restricted Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(8):3725–3732.

[11] TIENKEN R,KERSTEN S,FRAHM J,et al.Effects of prepartum dietary energy level and nicotinic acid supplementation on immunological,hematological and biochemical parameters of periparturient dairy cows differing in parity[J].Animals,2015,5(3):910–933.

[12] EL-BARODY M A A,DAGHASH H A,RABIE Z B H.Some physiological responses of pregnant Egyptian buffalo to niacin supplementation[J].Livestock Production Science,2001,69(3):291–296.

[13] KINOSHITA A,KENÉEZ Á,LOCHER L,et al.Insulin signaling in liver and adipose tissues in periparturient dairy cows supplemented with dietary nicotinic acid[J].PLoS One,2016,11(1):e0147028.

[14] CHAMBERLAIN J L.The effect of nicotinic acid supplementation during late-gestation on lipolysis and feed intake during the transition period[D].Master Thesis.Oregon State:The Oregon State University,2006.

[15] OVENTON T R,WALDRON M R.Nutritional management of transition dairy cows:strategies to optimize metabolic health[J].Journal of Dairy Science,2004,87:E105–E119.

[16] SCHÄFF C,BÖRNER S,HACKE S,et al.Increased muscle fatty acid oxidation in dairy cows with intensive body fat mobilization during early lactation[J].Journal of Dairy Science,2013,96(10):6449–6460.

[17] 余超.生物素对围产期奶牛泌乳净能和代谢蛋白平衡及生产性能的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2016.

[18] SUN F F,CAO Y C,CAI C J,et al.Regulation of nutritional metabolism in transition dairy cows:energy homeostasis and health in response to post-ruminal choline and

methionine[J].PLoS One,2016,11(8):e0160659.

[19] CARLSON L A,HANNGREN Å.Initial distribution in mice of ^{3}H-labeled nicotinic acid studied with autoradiography[J].Life Sciences,1964,3(8):867–871.

[20] BRADFORD B J,MAMEDOVA L K,SPIVEY K S,et al.Effects of niacin infusion on transcript and protein abundance of the niacin receptor GPR109A in bovine tissues[J].Journal of Dairy Science,2009,92(E-Suppl.1):518–519.

[21] TITGEMEYER E C,SPIVEY K S,MAMEDOVA L K,et al.Effects of pharmacological amounts of nicotinic acid on lipolysis and feed intake in cattle[J].International Journal of Dairy Science,2011,6(2):134–141.

[22] GANJI S H,TAVINTHARAN S,ZHU D M,et al.Niacin noncompetitively inhibits DGAT2 but not DGAT1 activity in HepG2 cells[J].Journal of Lipid Research,2004,45(10):1835–1845.

[23] MARTINEZ N,DEPETERS E J,BATH D L.Supplemental niacin and fat effects on milk composition of lactating Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,1991,74(1):202–210.

[24] POYNTEN A M,GAN S K,KRIKETOS A D,et al.Nicotinic acid-induced insulin resistance is related to increased circulating fatty acids and fat oxidation but not muscle lipid content[J].Metabolism,2003,52(6):699–704.

[25] OH Y T,OH K S,CHOI Y M,et al.Continuous 24-h nicotinic acid infusion in rats causes FFA rebound and insulin resistance by altering gene expression and basal lipolysis in adipose tissue[J].American Journal of Physiology:Endocrinology and Metabolism,2011,300(6):E1012–E1021.

[26] GILLE A,BODOR E T,AHMED K,et al.Nicotinic acid:pharmacological effects and mechanisms of action[J].Annual Review of Pharmacology and Toxicology,2008,48:79–106.

[27] BÄCKESJÖ C M,LI Y,LINDGREN U,et al.Activation of Sirt1 decreases adipocyte formation during osteoblast differentiation of mesenchymal stem cells[J].Journal of Bone and Mineral Research,2006,21(7):993–1002.

[28] BAI L,PANG W J,YANG Y J,et al.Modulation of Sirt1 by resveratrol and nicotinamide alters proliferation and differentiation of pig preadipocytes[J].Molecular and Cellular Biochemistry,2008,307(1/2):129–140.

[29] LI M X,SUN X M,ZHOU Y,et al.Nicotinamide and resveratrol regulate bovine adipogenesis through a SIRT1-dependent mechanism[J].Journal of Functional Foods,2015,18:492–500.

[30] PICARD F,KURTEV M,CHUNG N,et al.Sirt1 promotes fat mobilization in white adipocytes by repressing PPAR-γ[J].Nature,2004,429(6993):771–776.

[31] CORL B A,BUTLER S T,BUTLER W R,et al.Short communication:regulation of milk fat yield and fatty acid composition by insulin[J].Journal of Dairy Science,2006,89(11):4172–4175.

[32] HUHTANEN P,VANHATALO A,VARVIKKO T.Effects of abomasal infusions of histidine,glucose,and leucine on milk production and plasma metabolites of dairy cows fed grass silage diets[J].Journal of Dairy Science,2002,85(1):204–216.

[33] VIEIRA F V R,LOPES C N,CAPPELLOZZA B I,et al.Effects of intravenous glucose infusion and nutritional balance on serum concentrations of nonesterified fatty acids,glucose,insulin,and progesterone in nonlactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2010,93(7):3047–3055.

[34] PIRES J A A,PESCARA J B,GRUMMER R R.Reduction of plasma NEFA concentration by nicotinic acid enhances the response to insulin in feed-restricted Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(10):4635–4642.

[35] PIRES J A A,STUMPF L F,SOUTULLO I D,et al.Effects of abomasal infusion of nicotinic acid on responses to glucose and β-agonist challenges in underfed lactating cows[J].Journal of Dairy Science,2016,99(3):2297–2307.

[36] CHOI S,YOON H,OH K S,et al.Widespread effects of nicotinic acid on gene expression in insulin-sensitive tissues:implications for unwanted effects of nicotinic acid treatment[J].Metabolism,2011,60(1):134–144.

[37] KANG I,KIM S W,YOUN J H.Effects of nicotinic acid on gene expression:potential mechanisms and implications for wanted and unwanted effects of the lipid-lowering drug[J].The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism,2011,96(10):3048–3055.

[38] PIRES J A A,SOUZA A H,GRUMMER R R.Induction of hyperlipidemia by intravenous infusion of tallow emulsion causes insulin resistance in Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(6):2735–2744.

[39] ZACHUT M,HONIG H,STRIEM S,et al.Periparturient dairy cows do not exhibit hepatic insulin resistance,yet adipose-specific insulin resistance occurs in cows prone to high weight loss[J].Journal of Dairy Science,2013,96(9):5656–5669.

[40] SALTIEL A R,KAHN C R.Insulin signalling and the regulation of glucose and lipid metabolism[J].Nature,2001,414(6865):799–806.

[41] BERNABUCCI U,RONCHI B,LACETERA N,et al.Influence of body condition score on relationships between metabolic status and oxidative stress in periparturient dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2005,88(6):2017–2026.

[42] WEST J W.Effects of heat-stress on production in dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2003,86(6):2131–2144.

[43] WHEELOCK J B,RHOADS R P,VANBAALE M J,et al.Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2010,93(2):644–655.

[44] 刘兆喜.NEFA 和 BHBA 对酮病奶牛氧化应激状态的影响[D].硕士学位论文.长春:吉林大学,2013.

[45] 史晓霞.NEFAs 和 BHBA 诱导氧化应激对奶牛肝细胞 NF-κB 信号通路影响的研究[D].硕士学位论文.长春:吉林大学,2014.

[46] GANJI S H,KASHYAP M L,KAMANNA V S.Niacin inhibits fat accumulation,oxidative stress,and inflammatory cytokine IL-8 in cultured hepatocytes:impact on non-alcoholic fatty liver disease[J].Metabolism,2015,64(9):982–990.

Nicotinic Acid: Effects on Energy Metabolism of Transition Dairy Cows and Regulation Mechanism

WEI Xiaoshi YIN Qingyan CAI Chuanjiang CAO Yangchun YAO Junhu*

(*College of Animal Science and Technology*, *Northwest Agriculture and Forestry University*, *Yangling* 712100, *China*)

Abstract: Dairy cows in transition period, as an important period, experience drastic physiologic adaptions with metabolic enhancement, oxidative stress and immunity changing, and dairy cows are always in negative energy balance, which results in the incidence of metabolic disorders. Nicotinic acid plays a vital role in the modulation of glucose and lipid metabolism in dairy cows. In this review, we summarized recent advances in the effects and regulation mechanism of nicotinic acid supplementation on transition dairy cows, aiming to provide reliable data for further related study and application of nicotinic acid to the nutritional regulation and health of transition dairy cows.

Key words: nicotinic acid; transition dairy cow; energy metabolism; regulation; mechanism

---

*Corresponding author, professor, E-mail: yaojunhu2004@sohu.com (责任编辑 王智航)